

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ
НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ**

Антонов Д. В., Волков Р. С., Стрижак П.А.

Научный руководитель: Стрижак П.А., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dva14@tpu.ru

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF MUTUAL INFLUENCE OF SEVERAL
CONSECUTIVE WATER DROPLETS ON REGULARITIES
OF THEIR MOVEMENT THROUGH HIGH-TEMPERATURE GASES**

Antonov D. V., Volkov R. S., Strizhak P.A.

Scientific Supervisor: Prof., Strizhak P.A.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dva14@tpu.ru

***Annotation.** Experimental research of main integral characteristic of several water droplets at their movement through high-temperature gases (1100K) was carried out. Features of water droplets movement in a high-temperature gas stream are established. Characteristics of droplets movement at a variation of their initial parameters in a wide range was established with using high-speed video registration preservers «Phantom» and software packages «Tema Automotive» and «Phantom Camera Control». The main integral characteristic of several water droplets in the different distance between them were installed.*

Введение. В настоящее время перспективными являются несколько вопросов, связанных с исследованием процессов движения капель воды в области высокотемпературных газовых сред. Эти вопросы актуальны для таких сфер и отраслей промышленности, как напыление и покраска сложных конструкций газопарокапельными смесями; размораживание сыпучих сред и сушка пищевых продуктов газопарокапельными потоками; термическая или огневая очистка воды, эмульсий и суспензий на ее основе; полидисперсное пожаротушение специализированными смесями и аэрозолями [1, 2]. Однако, часть из перечисленных направлений не получили должного развития и широкого распространения. Все это связано с отсутствием до недавнего времени подходов и методов для достоверных экспериментальных исследований комплекса взаимосвязанных протекающих процессов тепломассопереноса, фазовых превращений и химического реагирования для газопарокапельных систем.

На сегодняшний день с использованием современных панорамно-оптических методов, кросскорреляционных комплексов, систем высокоскоростной фото – и видеорегистрации можно получить уникальные экспериментальные результаты и расширить представления в области большой группы газожидкостных систем [1-4].

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование взаимного влияния нескольких последовательно движущихся капель воды на закономерности их перемещения и интегральные характеристики испарения при движении в потоке высокотемпературных газов.

Методика экспериментальных исследований. При проведении исследований использовался экспериментальный стенд, по основным своим элементам аналогичный применяемому в работе [3]. Схема данного стенда представлена на рис. 1. В отличие от работы [3] стенд использовался для регистрации движения нескольких последовательных капель воды, для чего он был снабжен рядом дополнительных устройств.

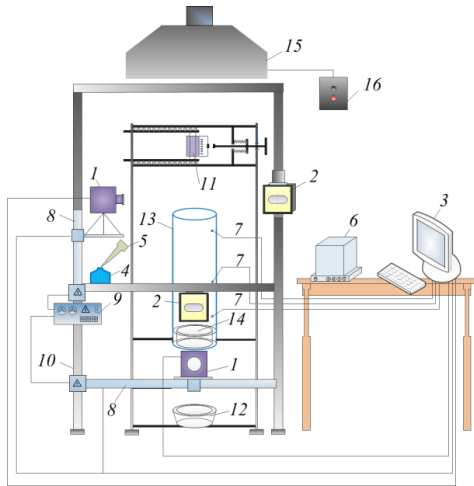


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – высокоскоростные видеокамеры; 2 – осветительные прожекторы; 3 – персональный компьютер (ПК); 4 – емкость с водой; 5 – дозирующее устройство; 6 – микровесы; 7 – термопары; 8 – моторизированные координатные устройства (МКУ); 9 – блок питания МКУ; 10 – алюминиевая стойка; 11 – устройство последовательной подачи капель; 12 – уловитель капель; 13 – цилиндр из кварцевого стекла; 14 – полый цилиндр с горючей жидкостью; 15 – нагнетательная система; 16 – пульт включения/отключения нагнетательной системы

Стенд представлял собой регистрационный комплекс на базе высокоскоростных видеокамер 1 «Phantom V411» и «Phantom Miro M310» (частота съемки – до $6 \cdot 10^5$ кадров в секунду). Для генерации идентичных друг другу последовательных капель воды использовалось специально сконструированное для этих целей устройство последовательной подачи капель 11. Разработанное устройство позволяли получать начальные значения скоростей движения капель около 0,2 м/с. Размеры (радиусы) генерируемых капель варьировались в диапазоне 1-2 мм. Для формирования высокотемпературной газовой среды использовался вертикальный цилиндрический канал 13 из кварцевого стекла и полый цилиндр 14, в межстеночное пространство которого заливалось жидкое топливо – керосин, который в последствие зажигался. Температура продуктов сгорания T_g составляла около 1100 К.

Методика экспериментов заключалась в осуществлении подачи последовательных капель воды устройством 11 в высокотемпературную газовую среду. Одновременно с этим выполнялась процедура видеорегистрации перемещающихся капель в высокотемпературной газовой среде высокоскоростными камерами 1 на разных по высоте точках. Дальнейшая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием программного комплекса «Тема Automotive» и «Phantom Camera Control».

Результаты. В ходе данного исследования были установлены особенности процесса последовательного движения капель воды через высокотемпературные газы. Измерения скоростей движения двух последовательно идущих капель показали (рис. 2а), что они существенно нелинейно изменяются не только для капель разных размеров R_d и с разными начальными значениями U_d . Впереди идущие капли довольно существенно влияют на скорости перемещения последующих (для них скорости значительно ниже, чем для впереди идущих). Также установлено (рис. 2б), что чем меньше начальное расстояние между каплями L_d , тем устойчивее реализуется процесс их сближения (и последующего слияния). Реализуется механизм, по которому капля, движущаяся второй, догоняет первую, и происходит их коагуляция. Из рис. 2б видно, что в пламени процесс слияния двух капель воды происходит быстрее, чем в воздухе, при прохождении расстояния $L=1,2$ м.

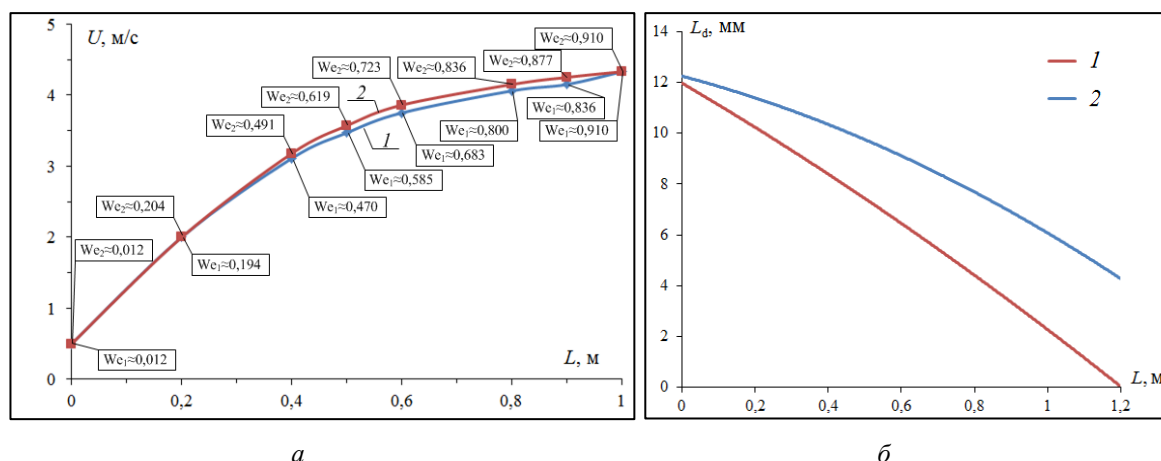


Рис. 2. а – изменение скоростей движения двух капель при движении в высокотемпературных газах при (1, 2 – первая и вторая капли); б – изменение расстояния L_d между каплями от пройденного расстояния L после прохождения зоны воздуха 1 и высокотемпературных газов 2

Скорости испарения капель воды в потоке высокотемпературных газов выше, чем в воздухе. При этом происходит значительное испарение первой капли воды по сравнению со второй. В результате этого испарения масса и скорость движения первой капли снижается. Масса же второй капли изменяется существенно меньше. Поэтому она разгоняется за счет работы массовых сил и догоняет первую. Происходит слияние двух последовательных капель воды в потоке высокотемпературных газов.

Проведенные эксперименты показали, что чем меньше начальное расстояние между двумя последовательными каплями, тем значительнее возрастает разница между скоростями этих капель (ускоряется процесс коагуляции). Эта закономерность обосновывает гипотезу о доминирующем влиянии спереди идущих капель в высокотемпературной газовой среде на условия и характеристики процесса движения последующих капель.

Закключение. В результате проведенных исследований была обоснована гипотеза о значительном влиянии впереди идущих капель воды на условия перемещения последующих. Каждая последующая капля движется быстрее по сравнению с впереди идущими. Данные закономерности свидетельствуют о целесообразности учета основных характеристик движения при формулировании математических выражений для последовательных капель воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-33-5008515).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Терехов В.И., Пахомов М.А. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2009. –284 с.
2. Алеханов Ю.В., Блинецов М.В., Власов Ю.А. Метод исследования взаимодействия диспергированной воды с пламенем // Письма в ЖТФ. –2003. – Т. 29. –№ 6. –С. 1–6.
3. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Влияние начальных параметров распыленной воды на характеристики ее движения через встречный поток высокотемпературных газов // ЖТФ. –2014. – Т. 84. –№ 7. –С. 15–23.
4. Терехов В.И., Терехов В.В., Шишкин Н.Е, Би К.Ч. Экспериментальное и численное исследования нестационарного испарения капель жидкости // Инженерно-физический журнал, –2010. –Т. 83. –№ 5. –С. 829–836.